



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aflastning af kloaker ved indbygning af blødt ler over rørtoppen

Lund, Willy; Jørgensen, Mogens B.

Published in:
NGM-88, 10. Nordiske Geoteknikermøde, Oslo 1988

Publication date:
1988

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Lund, W., & Jørgensen, M. B. (1988). Aflastning af kloaker ved indbygning af blødt ler over rørtoppen. I *NGM-88, 10. Nordiske Geoteknikermøde, Oslo 1988: Artikler og poster-sammendrag* (s. 284-288)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

AFLASTNING AF KLOAKRØR VED INDBYGNING AF BLØDT LER OVER RØRTOPPEN

M.B. Jørgensen og W. Lund

Aalborg Universitetscenter, Danmark.

ABSTRACT: Denne artikel beskæftiger sig med de jordtryk, der påvirker stive kloakrør anbragt i en ledningsgrav og omgivet af jordfyld. Artiklens baggrund er observationer og målinger, der blev udført i 1982 i forbindelse med anlægget af en større kloakledning i Aalborg Kommune. I dette projekt ønskede man at anvende uarmerede betonrør ned til største tilladelige lægningsdybde - bl.a. begrundet i prisforskellen mellem armerede og uarmerede rør. Imidlertid var der på dette tidspunkt rejst tvivl om den brudsikkerhed, man opnåede ved at følge de normale lægningsregler. Af denne grund søgtes sikkerheden forøget, dels ved at skærpe kravene til omkringfyldens komprimering, og dels ved at indbygge et eftergivende lag i fylden over rørtoppen. Der blev forsøgsvis anvendt en streng af blød, vandmættet gytje opgravet ved Limfjorden. De omtalte målinger tyder på, at der med denne fremgangsmåde faktisk blev opnået en væsentlig reduktion af den lodrette last fra jordfylden. Aflastningen indtrådte ikke straks ved lastpåførelsen, men først efter en vis "konsolideringstid".

INTRODUKTION

Spørgsmålet om, hvorledes nedgravede stive rørledninger påvirkes af den omkringliggende jord, har været et centralt problem i forbindelse med dette århundredes anlæg af tidssvarende afløbssystemer. Mange har givet bidrag til denne problematik på såvel teoretisk som eksperimentelt plan.

I almindelig beregningssammenhæng anvendes oftest en idealiseret fordelingsmodel, der opdeler påvirkningen i jævnt fordelte vertikale og horisontale tryk. På figur 1 er vist en sådan simpel model for et cirkulært betonrør med fod. Problemet kan herefter formuleres som et spørgsmål om at bestemme realistiske værdier af sidetrykket, S , vertikallasten, V_j samt dennes fordelingsbredde angivet ved topvinklen α .

En yderligere simplificeret model kan opnås ved kun at operere med vertikale lastfordelinger. En reduceret værdi af V_j kan i en sådan model kompensere for den manglende indregning af sidetrykket, S .

Med hensyn til teoretiske bestemmelser af vertikallasten V_j har det vist sig praktisk at udtrykke resultaterne ved hjælp af en belastningskoefficient λ , der sætter de fundne værdier af V_j i relation til en referenceværdi G_j bestemt som vægten af den jordsøjle, der befinder sig lodret over røret i hele dets bredde.

Kendes λ kan man herefter beregne V_j af:

$$V_j = \lambda \cdot G_j = \lambda \cdot \gamma \cdot H \cdot d_y \quad (\text{KN/m}) \quad (1)$$

Heri indgår:

γ = fyldjordens rumvægt (KN/m^3)

H = fyldens højde over rørtop (m)

d_y = rørets udvendige bredde (m)

Relevante værdier af λ blev først beregnet af amerikaneren Marston (1929-30) i de efterhånden klassiske specialtilfælde benævnt: gravtilstand (ditch condition) og dæmningstilstand (projection condition). Disse tilfælde opererer med lodrette gravvægge, symmetrisk rørplacering i gravbunden samt forudsætninger om friktionsfyld. Den karakteristiske forskel på de to tilfælde er, at gravtilstanden fører til $\lambda < 1$ mens dæmningstilstanden fører til $\lambda > 1$.

Blandt senere bidrag fra Skandinavien kan nævnes N.H. Christensen (1967), der på teoretisk og eksperimentelt grundlag har angivet værdier af λ for mellemtilstande svarende til mere almindeligt forekommende gravtværsnit med skrå sider. N.H.C. har ligeledes opstillet beregningsforslag til brug for usymmetriske tilfælde.

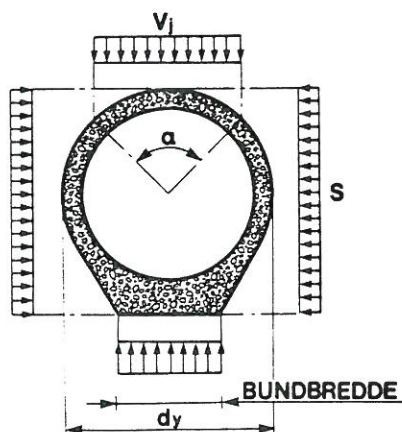


Fig. 1. Idealiseret model af jordtryksfordelingen på et nedgravet rør. (betonrør m. fod)

BÆREEVNE OG SIKKERHED

Bæreevnen af et givet kloakrør afhænger af dimensioner, materialegenskaber samt art og fordeling af den ydre last.

Ved angivelsen af et rørs bæreevne refereres mest hensigtsmæssigt til den vertikale linielast, Q_u , der placeret som vist på figur 2 og med veldefinerede understøtninger fremkalder brudspændinger i røret. For et fodrør regnes med, at understøtningerne er placeret 25 mm fra kanterne.

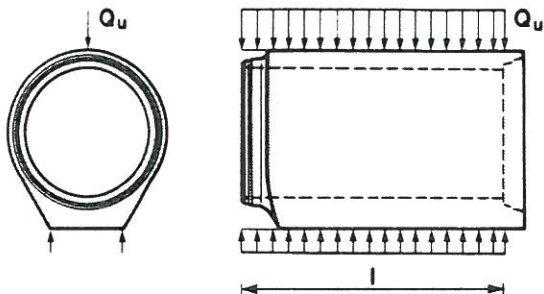


Fig. 2. Last- og reaktionsfordeling ved bestemmelse af linielast. (betonrør m. fod)

Ved prøvning måles en tilnærmet værdi af den teoretiske linielast, idet prøvningslasten Q_p kun udbredes over rørets midterste 50 cm som vist på figur 3. Det menes dog, at der kun er tale om små afvigelser.

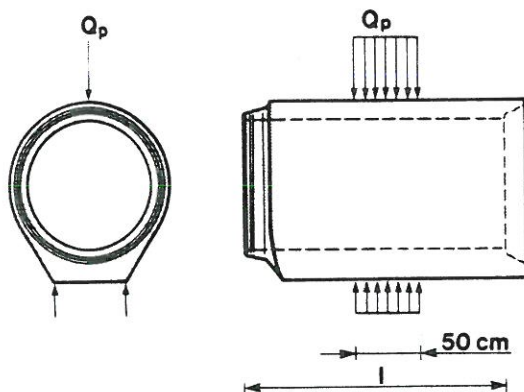


Fig. 3. Last- og reaktionsfordeling ved prøvning. (betonrør m. fod)

Hvis en jordtrykspåvirkning domineret af vertikallasten V_j (se figur 1) frembringer brudspændinger i et betonrør, må V_j på grund af lastfordelingen være større end linielast Q_u . Forholdet mellem disse to laster definerer den såkaldte "bærefaktor" f_v .

Med kendskab til Q_u , f_v samt en ønsket sikkerhedsfaktor, F , kan man herefter beregne den tilladelige værdi af V_j som:

$$V_{j, \text{ till. }} = Q_u \cdot f_v \cdot \frac{1}{F} \quad (2)$$

For et falsrør på fod har man i en årrække anvendt værdien $f_v = 2,15$ baseret på en elasticitetsteoretisk beregning, der forudsætter, at V_j er fordelt over en bredde svarende til $\alpha = 90^\circ$.

Der har imidlertid hersket tvivl om, hvorvidt en sådan beregning nu også var det rette udgangspunkt. Hvis man fx i stedet sammenligner de værdier af Q_u og V_j , der fører til samme lodrette flytning af rørtoppen, fås lavere værdier af f_v .

Lavere værdier fås ligeledes, hvis man antager en brudtilstand karakteriseret af revnede tværsnit med flydning i trykzonen. På dette grundlag er beregnet værdier af f_v mellem 1,4 ($\alpha = 90^\circ$) og 1,6 ($\alpha = 180^\circ$). Hvis den korrekte værdi af f_v ligger i dette område, fører de indtil for nylig anvendte lægningsregler ikke til den ønskede sikkerhed mod brud ($F \geq 1,5$).

REDUKTION AF VERTIKALLAST

Ideen om at kunne opnå en vertikal lastreduktion ved at indbygge et sammentrykkeligt lag over eller under et stift rør er naturligt affødt af den betydning, de klassiske teorier tillægger forholdet mellem de sætninger, der sker i fylden over røret og ved siden af røret. Metoden har såvidt vides været anvendt en del i USA, men også i Skandinavien har man eksperimenteret noget med denne mulighed, selvom ikke mange erfaringer endnu er rapporteret.

Blandt dem, der kendes, er nogle norske fuldskalaforsøg på cirkulære betonrør omgivet af grus. Ved disse forsøg, der blev udført i 1976, anvendtes bløde måtter af mineraluld anbragt over rørene. Observationer indikerede, at disse havde en aflastende virkning.

En sådan virkning er yderligere bekræftet gennem en serie modellforsøg i DIAB's centrifuge, hvor påvirkninger på et cirkulært rør i sand blev målt med og uden indlagte filt-måtter, (Hugo Larsen, 1979).

I det følgende beskrives et "fuldskalaforsøg" i Aalborg, hvor man som sammentrykkeligt element forsøgsvis valgte at indbygge en streng af blødt, vandmættet ler (gytje) over røret. Et sådant materiale var netop til rådighed, idet der samtidig med kloakprojektet blev foretaget uddybninger til en marina i et nærliggende område ved Limfjorden, præget af postglaciale aflejringer af normalkonsolideret, marin gytje. Forsøget blev netop iværksat under indtryk af den tvivl - begrundet i det foregående - som var opstået vedrørende den sikkerhed, man opnåede ved at følge de sædvanlige lægningsforskrifter.

DEN AKTUELLE RØRLEDNING

Det omtalte projekt drejer sig om en afskærende kloakledning, der leder de samlede regn- og spildevandsmængder fra et større sydligt opland det sidste stykke frem til "Rensningsanlæg-Vest" beliggende ved Limfjorden i Aalborgs vestlige udkant.

De anvendte rør er store uarmerede betonrør udformet som falsrør med fod. Rørens dimensioner og opgivne styrkemål fremgår af figur 4.

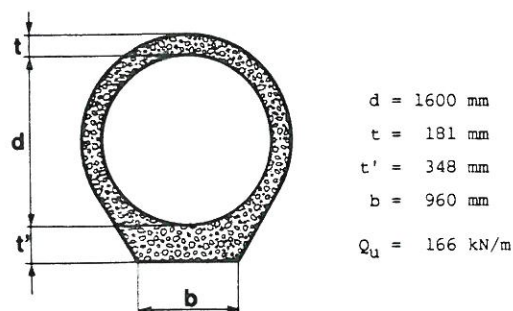


Fig. 4. De aktuelle rørdimensioner.

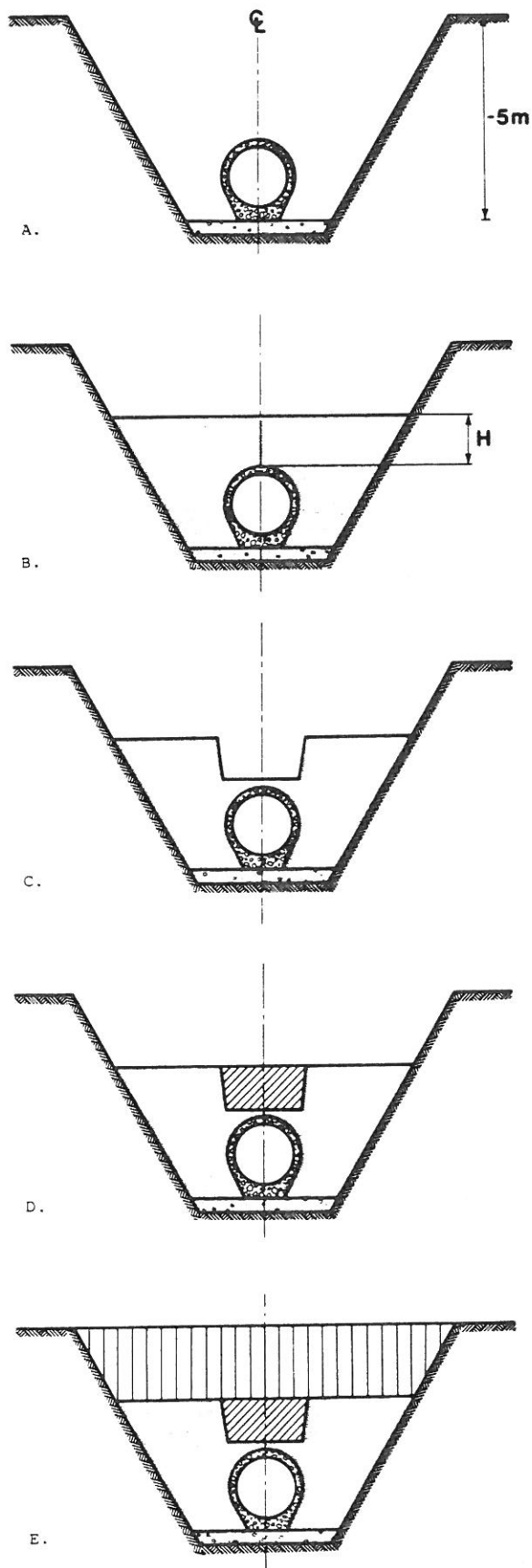


Fig. 5. Trinvis illustration af den benyttede fremgangsmåde ved lægning og tilfyldning.

LÆGNINGSPROCEDUREN

Lægningsprocedurens forskellige trin er skitseret på figur 5. Til de enkelte faser skal knyttes følgende supplerende oplysninger:

- Under udgravningen anvendes sugespids i begge sider, idet naturligt vandspejl er 1,5 m under terræn. Der udgraves med anlæg $a = 1,5$ og ekstra bundbredde.
- Omkringfylden (enskornet sandfyld) udlægges lagvis, og komprimeres til 96% SP. Der opnås med nogen variation et middelporetal $e = 0,55$. Der opfyldes til $H = 1,3$ à $1,6$ m.
- Der udgraves en rende ca. 2 m bred og ca. 1 à 1,3 m dyb.
- Renden opfyldes med blød gytje. Derefter afdækkes med en fiberduk.
- Videre opfyldning til terrænniveau. (Tilbagefyldt jord eller sandfyld).

INSTRUMENTERING

Det tilknyttede måleprojekt omfattede instrumentering af 3 betonstrør, der senere blev indbygget i 3 forskellige stationer.

Instrumenteringen tog sigte på bestemmelse af karakteristiske rørdeformationer alene gennem målinger af diverse længdeændringer. Figurerne 6 og 7 illustrerer de valgte måleprincipper.

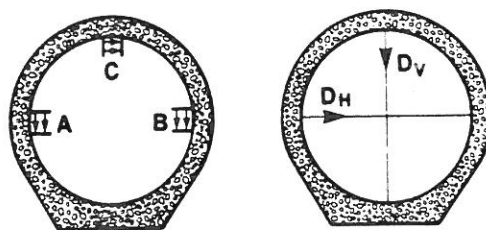


Fig. 6. Måleprincip. Pilene markerer de afstande, hvis ændringer måles.

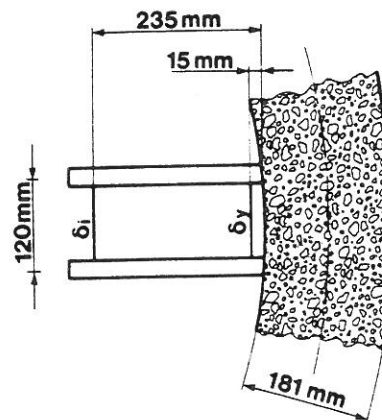


Fig. 7. Detalje af målearrangement i punkterne A, B og C.

I punkterne A, B og C indvendig i røret måltet to steder afstandsændringen imellem to målepinde monteret i indstøbte bøsninger i rørvæggen. Figur 7 viser en detalje af dette arrangement. Med de angivne mål og betegnelser kan følgende tøjningsstørrelser da bestemmes:

Gensidig vinkeldrejning, $\gamma = (\delta_v - \delta_i) / 220$

Middel-sammentrykning, $\epsilon = (\delta_v + (\delta_v - \delta_i) \cdot 0,48) / 120$

Som vist i figur 6 måltet endvidere længdeændringerne af den vertikale diameter D_v og den horisontale diameter D_h . På grund af de meget små målestørrelser var det nødvendigt at udvikle specielle måleinstrumenter baseret på strain-gauges. Disse er påklæbet en tynd stålfjeder, der spændes eller afspændes, når en målestrækning ændrer længde. Systemet tillader jævnlig kontrol af måleinstrumentets 0-punkt.

Instrumenteringen blev foretaget, mens målerørerne endnu befandt sig på fabrikken. Inden transporten til byggepladsen blev målerørerne anbragt i fabrikkens prøvestand og udsat for en prøvningslast op til ca. 60% af liniebrudlasten.

På figurerne 8 og 9 er vist de vigtigste kalibreringsresultater. Figur 8 viser arbejdskurverne for differensen, $(\delta_v - \delta_h)$, mellem sammentrykningen af vertikal og horisontal diameter, mens figur 9 viser arbejdskurver for toppunktets gensidige vinkeldrejning, γ_c . Disse deformationer er valgt som udgangspunkt for sammenligninger, fordi en uheldig virkning af temperaturvariationer her er elimineret.

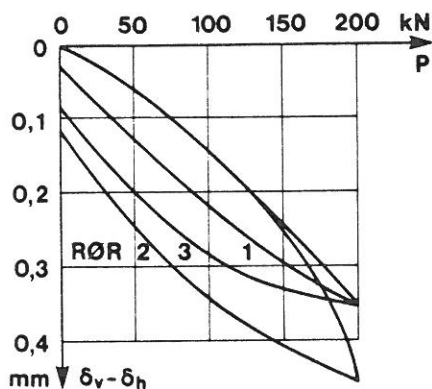


Fig. 8. Arbejdskurver målt i fabrikkens prøvestand.

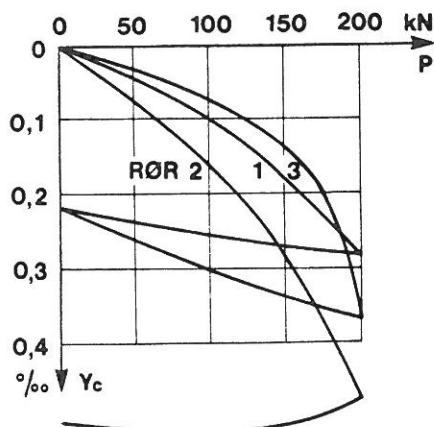


Fig. 9. Arbejdskurver målt i fabrikkens prøvestand.

MÅLERESULTATER

Til de planlagte målinger skal på forhånd knyttes følgende kommentarer:

Bedømt ud fra arbejdskurverne (figur 8 og 9) ser rør 1 ud til at være mest intakt, mens især kurverne for rør 2 kan tolkes at udvise tegn på revnedannelse. Rør 2 blev i øvrigt ret kort efter indbygningen sat ud af funktion på grund af en oversvømmelse, der kortsluttede og ødelagde de elektriske installationer. Rør 3 var kun delvis instrumenteret, og værdien af målingerne fra dette rør blev yderligere svækket på grund af store frem- og tilbagesving i 0-punkter samt en ubejlignende udskiftning af en defekt flytningsmåler.

Som følge heraf anvendes kun målinger fra rør nr. 1 ved de følgende vurderinger. Det er endvidere valgt at anse deformationsstørrelserne $(\delta_v - \delta_h)$ samt γ_c som de mest hensigtsmæssige og rimelige at basere en vurdering på af 2 grunde:

- 1) de er bestemt ud fra de største måleværdier. (flytningerne i punkterne A og B var meget små)
- 2) de er temperatruafhængige. (temperaturvariationerne var større end forudset)

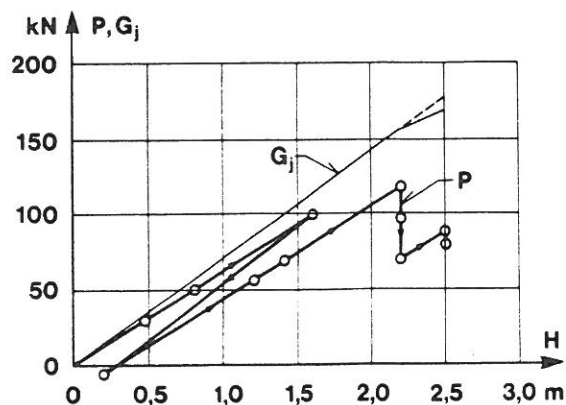


Fig. 10. Variation af jordlasten på målerør 1 angivet som den prøvningslast, P , der fremkalder samme værdi af deformationen $\delta_v - \delta_h$. Til sammenligning er vist referencelasten G_j . H er fyldhøjden over rørtop.

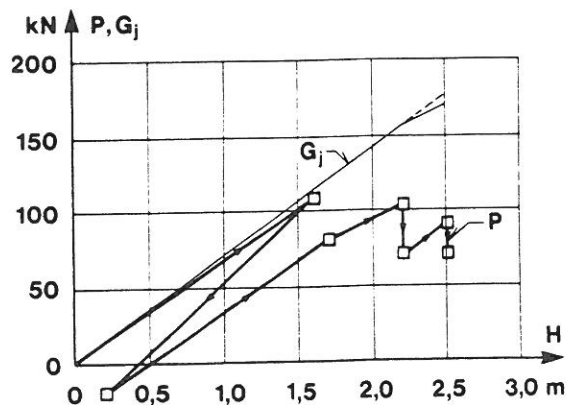


Fig. 11. Variation af jordlasten på målerør 1 angivet som den prøvningslast, P , der fremkalder samme værdi af deformationen γ_c . Til sammenligning er vist referencelasten G_j . H er fyldhøjden over rørtop.

Det var først muligt at påbegynde målingerne på et tidspunkt, hvor sidefylden var udlagt og komprimeret. Virkningen heraf er altså ikke registreret. Fyldhøjden over rørtop, H , var således 0 ved målestart.

På figur 10 er vist en sammenhæng imellem fyldhøjde over røret, H , og prøvningslast, P , der giver samme værdi af $(\delta_p - \delta_h)$ som målt under tilfyldningen. Den første aflastning hidrører fra udgravningen af den omtalte rende (figur 5,c). Ved bestemmelsen af P er anvendt arbejdskurven for rør 1 på figur 8. Det er antaget, at alle aflastningskurver og genbelastningskurver er ligedannede med de målte primærkurver.

På figur 11 er vist en tilsvarende sammenhæng imellem fyldhøjden H og den prøvningslast P , der svarer til den målte værdi af γ_c . Her er på samme måde som før anvendt arbejdskurven for rør 1 på figur 9. Både figur 10 og 11 angiver samtidig den til H svarende referencelast, G_j .

TOLKNING OG KONKLUSION

Som det ses af figurerne 10 og 11 giver de valgte sammenligninger et nogenlunde samstemmende billede af fyldbelastningens udvikling.

Ved opbygning af et lag af komprimeret sandfyld over røret til højden $H = 1,6$ m udsættes røret for en påvirkning svarende til en prøvningslast på 90 - 95% af referencelasten G_j , (G_j er beregnet med en generel rumvægt $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$).

Ved udgravning af den omtalte rende reduceres H til 0,2 m umiddelbart over røret, mens H stadig er 1,6 m over sidefylden. Dette er måske forklaringen på, at aflastningseffekten er lidt større end den forudgående belastning.

Ved fyldning af renden samt under den videre opfyldning øges påvirkningen i samme takt som ved første oplastning.

Ved fyldhøjden $H = 2,2$ m forekommer en pause på ca. 1 uge i tilfyldningsarbejdet. I dette tidsrum angiver målingerne en reduktion af påvirkningen på 30 - 40%.

Herefter opfyldes videre til $H = 2,5$ m, hvorefter der igen holdes en pause på ca. 1 uge. Igen udviser målingerne tegn på en aflastningseffekt. ("Knækket" på G_j -kurven skyldes virkningen af, at grundvandsspejlet stiger op over rørtoppen.) Målingerne måtte desværre afbrydes inden den afsluttende tilfyldning svarende til $H = 3,2$ m.

På det foreliggende grundlag synes det rimeligt at konkludere, at de anvendte forholdsregler, nemlig skærpede krav og skærpet kontrol m.h.t. sidefylden samt indbygning af en streng af blødt ler over rørtoppen, har ført til en aflastningseffekt som forventet. Målingerne antyder en virkning svarende til mindst 30%. Aflastningen sker ikke øjeblikkeligt, men kræver en vis tid svarende til, at en konsolideringsproces skal nå at forløbe.

DANSKE NORMER OG STANDARDER

Det skal afsluttende nævnes, at der siden det omhandlede projekt blev gennemført er sket visse ændringer af de danske standarder.

Således er det i artiklen beskrevne prøvningsarrangement (se figur 3) ændret væsentligt. Et nyt prøvningsarrangement, der overfører "linielaster" i to punkter på rørets overside - symmetrisk og svarende til $\alpha = 30^\circ$ - er fastlagt i DS 400.3.0, 1. udg. 1985.

En ny udgave af den danske lægningsnorm (DS 437, 2. udg. 1986) angiver - ved normal kontrolklasse og uden bløde indlæg - en vejledende værdi af $\lambda = 1,6$ for tilsvarende lægningsomstændigheder. Hvis man indlægger en blød streng over røret foreslås anvendt $\lambda = 1,4$. Det beskrevne forsøg tyder på, at en sådan reduktion af vertikallasten ikke er urealistisk, men snarere lidt på den sikre side.

REFERENCER

- CHRISTENSEN, N.H. 1967. Rigid pipes in symmetrical and unsymmetrical trenches. Bulletin nr. 24. The Danish Geotechnical Institute, Copenhagen, 1967.
- LARSEN, HUGO. 1979. The effect of compressible inclusions above or below rigid pipes. Våg-och Wattenbyggen nr. 7-8, 1979.
- MARSTON, A. 1929-30. The Theory of External Loads on Closed Conduits in the Light of the Latest Experiments. Proc. Highway Research Board 9, pp 138-170.
- YOUNG, O.C. and TROTT, I.I. 1984. Buried Rigid Pipes. Structural design of pipelines. Elsevier Applied Science Publishers, 1984.
- DS 437. Dansk Ingeniørforenings norm for lægning af stive ledninger af beton m.v. i jord. 1. udgave 1976. 2. udgave 1986.